

БІОІНДИКАЦІЯ ҐРУНТУ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ СМІТТЄЗВАЛИЩ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ

Л.Ю. Симочко^{1,2}, О.В. Гафіяк², О.С. Дем'янюк¹

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: lyudmilassem@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6698-3172

e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853

² ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (м. Ужгород, Україна)

e-mail: gafiakolga@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1812-9964

У статті наведено результати моніторингу прилеглої території до Карпатського біосферного заповідника щодо виявлення несанкціонованих сміттєзвалищ та досліджено екологічний стан цих ґрунтів. Виявлено чотири несанкціоновані сміттєзвалища твердих побутових відходів в урочищах Підгірна, Станіслав, Стеришори та Фересок площею від 0,15 до 1,5 га з терміном накопичення відходів 12–22 роки та різним морфологічним складом, що мало значний вплив на екологічний стан ґрунту. Біоіндикаційними методами встановлено зміни в мікробному ценозі ґрунту за безпосереднього впливу несанкціонованих сміттєзвалищ твердих побутових відходів, а саме збільшення чисельності органотрофних бактерій та мікроміцетів і зменшення азотфіксувальних мікроорганізмів, а також зростання фітотоксичності ґрунту. Найвищу кількість бактерій, що використовують азот органічних сполук (25,36–28,61 млн КУО/г ґрунту), та мікроміцетів (51,8–76,8 тис. КУО/г ґрунту) фіксували в ґрунтах в урочищах Підгірна і Фересок із перевагою в 1,5–1,7 рази та і 2,5–3,8 рази порівняно з ґрунтом заповідної зони. Зростання чисельності педотрофних і оліготрофних мікроорганізмів та мікроорганізмів, які асимілюють органічні форми азоту, у середньому в 2,70, 2,84 і 1,48 рази вплинуло на спрямування перебігу основних ґрунтово-мікробіологічних процесів. Коефіцієнт оліготрофності варіював у межах 0,21–0,30, мінералізації–імобілізації — 1,22–1,38, педотрофності — 0,55–0,96 із максимумом у ґрунті сміттєзвалища в урочищах Фересок і Підгірна, що свідчить про підсилення мікробіологічних процесів мінералізації та розкладання органічної речовини ґрунту, у т.ч. гумусових сполук. Встановлено тісну залежність між тривалістю складування твердих побутових відходів на певній ділянці та рівнем фітотоксичності ґрунту ($r=0,92$). У ґрунті сміттєзвалищ в урочищах Підгірна, Стеришори та Фересок показник фітотоксичності є значним (понад 50%), що свідчить про високий рівень забруднення ґрунтової екосистеми та посилення екологічних ризиків у зоні несанкціонованого накопичення твердих побутових відходів.

Ключові слова: біоіндикація, ґрунт, ґрунтові мікроорганізми, фітотоксичність, несанкціоновані сміттєзвалища, екологічна безпека, забруднення, тверді побутові відходи.

ВСТУП

Серед глобальних екологічних проблем людства гостро стоїть проблема відходів та підвищення пов'язаної з ними небезпеки. Зокрема, в Україні щороку невпинно зростають обсяги побутових відходів і відходів виробництва, а рівень їх зберігання, переробки або утилізації є доволі низьким [1; 2]. Окрім того, останніми роками стрімко зросла кількість несанкціонованих сміттєзвалищ на всій території України. Карпатський регіон, на жаль, не є виключенням.

Згідно з офіційними даними реєстру місць видалення відходів, станом на 01.01.2020 р. на території Закарпатської обл. обліковано 134 місць видалення твердих побутових відходів (ТПВ), з яких лише 42,8% паспортизовано [3]. Кількість та площі таких звалищ систематично зростають, спричиняючи негативний вплив на лісові екосистеми та їх складові, екологічний стан ґрунтів і водних об'єктів, що становить загрозу для здоров'я людини та навколишнього природного середовища, а саме відбуваються незворотні процеси деградації природних

екосистем [4–8]. Варто зазначити, що несанкціоновані сміттєзвалища значною мірою визначають санітарно-епідеміологічне благополуччя населених місць, рекреаційних територій та природних заповідників, а також якість життя місцевого населення. А тому потребують особливої уваги вчених-екологів, громадських організацій, місцевої влади і правоохоронних органів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Рамковою конвенцією про охорону та сталий розвиток Карпат визначено низку пріоритетних завдань у забезпеченні збереження та відновлення унікальних природних комплексів Карпат, зокрема збереження та стале використання біологічного та ландшафтного різноманіття, запобігання негативному впливу на гірські екосистеми тощо [9; 10]. Однак, незважаючи на низку природоохоронних документів і міжнародних ініціатив, Карпатський регіон має неблагополучну екологічну ситуацію, пов'язану зі значним неконтрольованим антропогенним впливом, серед яких велику загрозу навколишньому природному середовищу несуть несанкціоновані звалища. Доволі часто в ґрунті виявляють такі токсичні сполуки, як солі заліза, свинцю, цинку, ртуть, пестициди та інші біоорганічні сполуки [11].

Такий вид забруднення негативно впливає на всі складові екосистеми, зокрема на функціонування ґрунтового мікробіому, оскільки під час розкладу відходів виділяються токсичні сполуки, звалища стають середовищем існування та розмноження багатьох патогенних мікроорганізмів. Зокрема, фітотоксичними властивостями володіють бактерії роду *Bacillus* та *Bacterium*. Більшість ґрунтових мікроміцетів також здатні продукувати фітотоксини: *Aspergillus fumigatus* продукує геліфолієву кислоту, мікроміцети роду *Penicillium* — патулін, *Trichoderma* — вірідин [12]. Крім того, токсичні сполуки, які продукують ґрунтові мікроорганізми, можуть впливати на рослинні клітини, їх хімічний склад, перебіг фізіолого-біохімічних процесів у рослинах,

що може призвести до трансформації флори в природних екосистемах [13].

Будь-яке антропогенне втручання в екосистеми віддзеркалюється на ґрунтовому середовищі — порушується структура ґрунту, його фізичні, хімічні і біологічні властивості [8; 14; 15]. Забруднення ґрунтів також тісно пов'язано із забрудненням підземних і поверхневих вод, у т.ч. і тих, які використовують для господарсько-питних потреб [11].

Біота (рослини, фауна, мікроорганізми) і ґрунт у природних умовах пройшли тривалий шлях коеволуції. Нині їх тісний взаємозв'язок зберігається на різних ієрархічних рівнях структурно-функціональної організації цієї системи. Ґрунти, що знаходяться на клімаксовому рівні еволюції, мають стійке полікомпонентне угруповання біоти, різноманітність видів, життєві форми і фізіологічні функції яких відображають їх властивості. Однак еволюційно сформована єдність ґрунту й біорізноманіття доволі вразливі й можуть збалансовано функціонувати лише за умови збереження цілісності всіх його компонентів і природних ландшафтів загалом [16].

Сучасний підхід до оцінювання якості об'єктів навколишнього природного середовища заснований на принципі «збалансованого функціонування» екосистеми і враховує взаємозв'язок компонентів біоценозу та їхню взаємодію з ґрунтовим середовищем [15; 17; 18].

Діагностика та оцінювання екологічного стану ґрунту є невід'ємною складовою під час проведення комплексних досліджень стану об'єктів навколишнього природного середовища.

Ґрунт як середовище існування живих організмів, містить дуже складні біоценози, що зумовлює протікання складних процесів на біофізичному, біохімічному рівнях і на рівнях внутрішньо- і міжпопуляційної взаємодії. Тому не завжди видається можливим передбачити реакцію біотичного складника на забруднення.

Як зазначає академік НААН В. Патики, перспективними інтегральними методами дослідження стану навколишнього природного середовища є методи біотестування та біоін-

дикації, що ґрунтуються на зворотній реакції живих організмів на негативний вплив забруднюючих речовин, саме вони здатні надати достовірну інформацію про якість компонентів навколишнього середовища, зокрема ґрунтів [15]. Методи біотестування дають змогу в доволі короткі терміни отримати інтегральну оцінку токсичності ґрунтів, що доцільно застосувати під час моніторингових досліджень [14; 15; 17; 18]. Прямі вимірювання фітотоксичних властивостей ґрунтів, відповідно до результатів досліджень І. Кривицької, мають бути обов'язковою частиною ґрунтово-екологічних обстежень територій, що забезпечить раціональне використання ґрунтового покриву загалом [16].

Біотестування – це експериментальне визначення, оцінка дослідним способом впливу чинників (фізичних, хімічних, фізико-хімічних) або групи шкідливих факторів на живі організми шляхом реєстрації змін того чи іншого біологічного показника (фізіологічного, біохімічного, цитогенетичного тощо), що спостерігається в піддослідному тест-об'єкті (індикатор) порівняно з контрольним у чітко заданих (тобто стандартних лабораторних) умовах. Біотестування є важливим інструментом під час дослідження трансформованих ґрунтових екосистем.

На думку багатьох провідних учених-екологів, мікробіологів, ґрунтознавців [14; 15; 17–24] мікробіологічні показники ґрунту, як найбільш інформативні і чутливі, є необхідною складовою під час проведення комплексного екологічного оцінювання ґрунтів. Тому оцінка екологічного ризику для природних екосистем і здоров'я населення від впливу забруднення ґрунту внаслідок несанкціонованих сміттєзвалищ, є актуальною для визначення рівня екологічної небезпеки і розробки відповідних природоохоронних заходів.

Мета – дослідити екологічний стан ґрунтів у зоні несанкціонованих сміттєзвалищ навколо Карпатського біосферного заповідника методами біоіндикації.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження виконано в Ужгородському національному університеті та Інституті агроекології і природокористування НААН упродовж 2018–2020 рр.

Матеріалами дослідження слугували зразки ґрунту, відібрані з різних трансформованих екосистем (несанкціоновані сміттєзвалища ТПВ) навколо Карпатського біосферного заповідника (рис.).



Місця локалізації сміттєзвалищ ТПВ навколо Карпатського біосферного заповідника

Зразки ґрунту відбирали у вересні–жовтні методом квадратів (10×10 м) на глибині 0–20 см відповідно до ДСТУ ISO 10381–6:2015 [25] та визначали його екологічний стан за біоіндикаційними показниками:

- чисельністю мікроорганізмів основних еколого-трофічних і груп – за ДСТУ 7847:2015 [26] та загальноприйнятими методами в ґрунтовій мікробіології [23; 24; 27];
- спрямованістю мікробіологічних процесів у ґрунті – за відповідними коефіцієнтами (мінералізації–імобілізації (K_m), оліготрофності ($K_{ол}$), педотрофності ($K_{пед}$)) розрахунковим методом [27];
- фітотоксичністю ґрунту – з використанням ґрунтових пластинок і тест-культури за ДСТУ ISO 11269–2:2002 [28] та загальноприйнятими методами [12].

Статистичне оброблення отриманих результатів здійснювали за Б. Доспеховим [29] із використанням відповідних комп'ютерних програм.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Карпатський біосферний заповідник площею 8035,8 га розташований на території Виноградівського, Рахівського, Тячівського, Хустського р-нів Закарпатської обл. [10]. Серед низки чинників, які мають негативний вплив на екологічний стан заповідника і прилеглих територій, є ТПВ, причиною накопичення яких є місцеве населення та туристична індустрія. Варто зазначити, що на всій гірській території верхів'їв басейну річки Тиса повністю відсутні полігони для зберігання ТПВ та система їх утилізації. На переробку й захоронення вивозиться лише незначна частина відходів, а решту місцеві жителі і туристи викидають у неналежних місцях, у т.ч. на березі річки. Загалом Тиса та її притоки слугують постійно діючими транскордонними сміттєпроводами до Румунії та Угорщини [30; 31].

Обстеження території, прилеглої до Карпатського біосферного заповідника, показало наявність значної кількості 9 сміттє-

звалищ, які утворилися внаслідок несанкціонованого скидання ТПВ, серед яких виявлено чотири осередки сміття з найбільшою площею (0,15–1,50 га) і значною небезпекою для природних екосистем в урочищах Підгірна, Станислав, Стеришори та Фересок (табл. 1).

Візуальне обстеження показало, що в найстарішому і найбільшому за площею сміттєзвалищі в урочищі Фересок накопичено значні об'єми доволі різноманітних побутових відходів, серед яких значна частка залишків будівельних матеріалів, побутова техніка, відпрацьовані батарейки, пластикова тара з-під побутової хімії та інші відходи, зокрема й такі, що не підлягають переробці.

В урочищі Стеришори переважають відходи харчових продуктів, а також їх упаковки (дой-пак упаковки), обгортки з-під солодощів, одноразова пластикова тара, пластикові та скляні пляшки тощо. Пластик, який важко ідентифікувати. Оскільки в околицях урочища активно будуються туристичні об'єкти, сюди звозять залишки будівельних матеріалів, пінопласт, пластмасу, картон.

В урочищі Станислав сміттєзвалище складається з декількох фрагментів та знаходиться неподалік річки, що посилює екологічну небезпеку. На ньому накопичено значну кількість відходів, які підлягають сортуванню та вторинній переробці. Тут зосереджено багато скловиробів і пластику та поліетилену, упаковок від їжі й напоїв, картонні вироби тощо.

Урочище Підгірна найбільш наближене до населеного пункту. Тут відбувається постійне і систематичне складування побутових відходів, у т.ч. небезпечних. Типовий склад ТПВ цього звалища доволі різноманітний, тут накопичена значна кількість скла, пластику, паперу, картону, гуми, ліків, вологих серветок, тари з-під побутової хімії тощо. Більшість відходів підлягають сортуванню та переробці.

Навколо всіх обстежених сміттєзвалищ фіксували зміни рослинності, бур'яни та інвазійні види повністю витіснили аборигенну флору. Також у теплий період року

Таблиця 1. Характеристика найнебезпечніших несанкціонованих сміттєзвалищ навколо Карпатського біосферного заповідника

Місцезнаходження сміттєзвалища / географічні координати	Площа, га	Рік утворення	Морфологічний склад ТПВ, %
Урочище Стеришори 24.2598325 північної широти 48.2446123 східної довготи	0,15	2008	Папір та картон – 12 Харчові відходи (або органіка) – 38 Скло – 10 Залізо та його сплави – 7 Полімери (пластик, пластмаси) – 13 Деревина – 3 Ґума та шкіра – 5 Текстиль – 7 Алюміній – 3 Інше – 2
Урочище Підгірна 24.354793 північної широти 48.306874 східної довготи	0,55	2004	Папір та картон – 28 Харчові відходи (або органіка) – 20 Скло – 14 Залізо та його сплави – 5 Полімери (пластик, пластмаси) – 13 Деревина – 7 Ґума та шкіра – 5 Текстиль – 4 Алюміній – 2 Інше – 2
Урочище Фересок 24.436554 північної широти 48.239680 східної довготи	1,50	1998	Папір та картон – 11 Харчові відходи (або органіка) – 8 Скло – 4 Залізо та його сплави – 35 Полімери (пластик, пластмаси) – 14 Деревина – 5 Ґума та шкіра – 10 Текстиль – 3 Алюміній – 5 Інше – 5
Урочище Станислав 24.310462 північної широти 48.306571 східної довготи	0,20	2006	Папір та картон – 31 Харчові відходи (або органіка) – 22 Скло – 18 Полімери (пластик, пластмаси) – 7 Деревина – 8 Ґума та шкіра – 5 Текстиль – 3 Алюміній – 2 Інше – 4

внаслідок процесів розкладання органічних відходів відмічено виділення неприємного запаху. Спостерігали на сміттєзвалищах скупчення комах, гризунів та плазунів, які є потенційними переносниками збудників різноманітних інфекційних за-

хворювань, що особливо небезпечно для людини і свійської худоби.

Дослідження мікробіологічного стану ґрунтів сміттєзвалищ показало зміну у структурі мікробіому ґрунту і перерозподілу основних еколого-трофічних і таксо-

номічних груп мікроорганізмів. Зокрема виявлено підвищений вміст органотрофних бактерій та мікроміцетів. Найвищу кількість бактерій, що використовують азот органічних сполук (25,36–28,61 млн КУО/г ґрунту), та мікроміцетів (51,8–76,8 тис. КУО/г ґрунту) фіксували в ґрунтах в урочищах Підгірна і Фересок із перевагою в 1,5–1,7 раза та 2,5–3,8 раза порівняно з ґрунтом заповідної зони (табл. 2). Високу чисельність мікроміцетів можна пояснити особливостями їх фізіології, для яких характерно більш економний обмін речовин у поєднанні з вищою біохімічною активністю. Тому природно, що мікроміцети виявилися конкурентоспроможнішими з високою адаптацією до умов середовища. Водночас представники цих груп мікроорганізмів мають і високий ступінь токсичності, що визначає токсичність ґрунту.

Також спостерігали бурхливий розвиток бактерій, що використовують азот мінеральних сполук у 1,4–2,2 раза та зниження чисельності стрептоміцетів на 8–59% і азотфіксувальних мікроорганізмів на 18–60% порівняно з ґрунтом природної екосистеми. Особливо виразними ці зміни були в урочищах Фересок і Підгірна, де тривалість накопичення ТПВ становила відповідно 22 і 16 років.

Дослідженнями О. Наумовської показано зміни у морфолого-генетичній будові

генетичних горизонтів, що вказує на зміну природних процесів гумусонакопичення в місцях локальних несанкціонованих сміттєзвалищ [8].

Нами встановлено, що в ґрунті сміттєзвалищ зростала чисельність педотрофних і оліготрофних мікроорганізмів та мікроорганізмів, які асимілюють органічні форми азоту, у середньому в 2,70, 2,84 і 1,48 раза, що відповідно вплинуло на спрямування перебігу основних мікробіологічних процесів. За наявності органічних відходів (напр., рештки харчових продуктів) закономірно зростає коефіцієнт мінералізації–імобілізації (K_{M-i}) на 12,4–27,1%, завдяки доволі активному розмноженню мікроорганізмів, які засвоюють мінеральні форми біогенних елементів та виконують іммобілізаційну функцію мікробного ценозу (табл. 3).

Показник оліготрофності варіював у межах 0,21–0,30, коефіцієнт мінералізації–імобілізації – 1,22–1,38 із максимумом у ґрунті сміттєзвалища в урочищах Фересок і Підгірна, що свідчить про підсилення мікробіологічних процесів мінералізації органічної речовини ґрунту, а також про вузьке співвідношення вуглецю до азоту в ґрунті. У ґрунті в урочищі Стеришори ці показники були менші в середньому на 5–36%. Високі значення коефіцієнта оліготрофності у ґрунті сміттєзвалищ свідчить

Таблиця 2. Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп у ґрунті

Місце відбору	Бактерії, що використовують		Педотрофні (ГрА)	Стрептоміцети (КАА)	Оліготрофні (ГА)	Азотфіксувальні, % обростання грудочок	Мікроміцети, тис. КУО/г ґрунту
	мінеральний азот (КАА)	органічний азот (МПА)					
млн КУО/г ґрунту							
Заповідна зона	17,91	16,48	7,12	5,67	4,88	83,24	20,4
Ур. Стеришори	25,24	20,61	11,34	6,34	9,96	68,22	24,5
Ур. Підгірна	35,12	25,36	22,64	4,22	13,88	47,90	51,8
Ур. Фересок	39,29	28,61	27,34	2,34	20,43	33,60	76,8
Ур. Станислав	29,88	23,31	15,56	5,22	11,12	59,20	31,8
НІР ₀₅	0,13	0,21	0,12	0,14	0,11	1,15	0,24

Таблиця 3. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті в зоні несанкціонованих сміттєзвалищ ТПВ

Місце відбору зразків ґрунту	Коефіцієнт		
	мінералізації– імобілізації, K_{M-i}	оліготрофності, $K_{ол.}$	педотрофності, $K_{пед.}$
Заповідна зона	1,09	0,14	0,43
Ур. Стеришори	1,22	0,22	0,55
Ур. Підгірна	1,38	0,23	0,89
Ур. Фересок	1,37	0,30	0,96
Ур. Станислав	1,28	0,21	0,67

про зниження вмісту в ґрунті поживних речовин.

Аналогічно фіксували зростання значень коефіцієнта педотрофності ($K_{пед.} = 0,55–0,96$) у ґрунті сміттєзвалищ на 28–223% порівняно з ґрунтом заповідника, що свідчить про активізування процесів розкладання органічної речовини ґрунту, у т.ч. гумусових сполук.

Важливим показником екологічного стану ґрунту є його фітотоксичність – інформативний показник, який рекомендовано використовувати під час оцінювання антропогенного впливу на ґрунтове середовище [12; 32]. Отримані результати свідчать, що рівень фітотоксичності ґрунту в зоні накопичення ТПВ є доволі значним і безпосередньо залежить від площі, морфо-

логічного складу та тривалості складування ТПВ (табл. 4).

Встановлено тісну залежність між рівнем фітотоксичності ґрунту й тривалістю складування відходів ($r = 0,92$) та морфологічним складом ТПВ.

Найнижчий рівень фітотоксичності ґрунту порівняно з контролем і ґрунтом заповідника виявлено на території сміттєзвалища найменшого за площею та з найменшим терміном складування ТПВ в урочищі Стеришори. Тут переважають побутові відходи, які підлягають вторинній переробці, що свідчить про невисоку екологічну напругу в зоні сміттєзвалища і, ймовірно, пов'язано з віддаленістю від населених пунктів та періодичним скиданням відходів. Тоді як у ґрунті сміттєзвалищ в

Таблиця 4. Фітотоксичність ґрунту у зоні несанкціонованих сміттєзвалищ

Місце відбору зразків ґрунту	Кількість пророслих насінин		Довжина		Фітотоксичність, % інгібування схожості тест-культури
			коренів	проростків	
	шт.	%	мм		
Контроль (стерильний пісок)	26 ± 0,8	87	12 ± 0,4	9 ± 0,8	—
Заповідна зона	25 ± 0,7	83	11 ± 0,4	8 ± 0,5	7,3
Ур. Стеришори	23 ± 0,6	77	11 ± 0,8	8 ± 0,8	11,5
Ур. Підгірна	12 ± 0,4	40	9 ± 0,9	6 ± 0,7	53,6
Ур. Фересок	5 ± 0,3	2	7 ± 0,4	4 ± 0,3	80,8
Ур. Станислав	13 ± 0,9	43	9 ± 0,4	7 ± 0,5	50,0

інших урочищах показник фітотоксичності є значним (50–81%) і вказує на високий рівень забруднення ґрунтової екосистеми та посилення екологічних ризиків у зоні несанкціонованого накопичення ТПВ.

Рівень фітотоксичності ґрунту в урочищі Станислав визначено як вище середнього. Це сміттєзвалище утворене дещо пізніше, проте тут систематично відбувається складування ТПВ та наявна значна кількість небезпечних відходів, зокрема таких, що не підлягають вторинній переробці. Кількість пророслих насінин тест-культури була на 50% менше, ніж у контролі, а середня довжина проростків меншою на 2 мм, коренів — на 3 мм порівняно з контролем.

В урочищі Підгірна, що найближче розташовано до населеного пункту, та відбувається постійне й систематичне складування побутових відходів, у т.ч. і небезпечних, рівень фітотоксичності ґрунту є вище середнього. Кількість пророслих насінин тест-культури майже на 46% менше за контроль. Довжина пагонів проростків у середньому на 3 мм, а коренів на 2 мм менша за контроль.

Найвищий рівень фітотоксичності ґрунту зафіксовано в урочищі Фересок, де звалище найбільше за площею та функціонує майже 23 роки та активно протікають процеси розкладання органічних речовин, гниття й напіврозпаду змішаних відходів за впливу природних чинників. Кількість пророслих насінин тест-культури була майже на 8% менше, ніж на контролі. Довжина коренів та проростків тест-рослин була майже вдвічі меншою порівняно з

контролем та становила відповідно 7 і 4 мм. Це може бути зумовлено як безпосереднім забрудненням ґрунту фільтратом та накопиченням фітотоксичних речовин — продуктів метаболізму ґрунтових мікроорганізмів.

ВИСНОВКИ

Несанкціоновані сміттєзвалища є потужним чинником впливу на екологічний стан екосистем. Навколо Карпатського біосферного заповідника виявлено чотири несанкціоновані сміттєзвалища ТПВ в урочищах Підгірна, Станислав, Стеришори та Фересок площею від 0,15 до 1,5 га з терміном накопичення відходів 12–22 роки й різним морфологічним складом, що мало значний екологічний вплив на екосистему ґрунту.

Встановлено зміни в мікробному ценозі ґрунту за безпосереднього впливу несанкціонованих сміттєзвалищ ТПВ, а саме збільшення чисельності органотрофних бактерій та мікроміцетів і зменшенням корисних азотфіксувальних мікроорганізмів. При цьому зростає напруженість процесів мінералізації—імобілізації, оліготрофності та розкладання органічної речовини ґрунту. Встановлено тісну залежність між тривалістю складування ТПВ на певній ділянці та рівнем фітотоксичності ґрунту ($r=0,92$). У ґрунті сміттєзвалищ в урочищах Підгірна, Стеришори та Фересок показник фітотоксичності є значним (понад 50%), що свідчить про високий рівень забруднення ґрунтової екосистеми та посилення екологічних ризиків у зоні несанкціонованого накопичення ТПВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Trends in Solid Waste Management. The World Bank. URL: https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html
2. Попович В.В. Поводження із твердими побутовими відходами (вітчизняний та зарубіжний контекст). *Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник*. 2012. № 105. С. 476–482.
3. Екологічний паспорт Закарпатської області. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mep.gov.ua/news/35913.html>
4. Бороніна Г.Г. Екологічні проблеми Закарпатської області та шляхи їх розв'язання на засадах сталого розвитку. *Економіка та сусільство*. 2017. Вип. 13. С. 905–909.
5. Делеган-Кокайко С.В., Слабкий Г.О., Лук'янова В.В., Анпілова Є.С. Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб. *Екологічна безпека та природокористування*. 2020. № 2 (34). С. 43–52.
6. Brevik E.C., Slaughter L., Singh B.R. et al. Soil and

- human health: current status and future needs. *Air, Soil and Water Research*. 2020. Vol. 13. P. 1–13.
7. Prüss-Ustün A., Wolf J., Corvalan C. et al. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva: World Health Organization. 2016. URL: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204585>
 8. Наумовська О.І. Екологічний аналіз стану ґрунтового покриву в умовах локального забруднення за утворення несанкціонованих сміттєзвалищ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Біологія, біотехнологія, екологія*. 2015. Вип. 214. С. 200–206.
 9. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат. URL: zakon.rada.gov.ua/go/998_164.
 10. Рыбак М.П., Лук'янова В.В., Покин'черда В.Ф., Йонаш І.Д. Еколого-рекреаційна діяльність Карпатського біосферного заповідника як складник сталого розвитку. *Екологічні науки*. 2019. 26 (3). С. 88–92.
 11. Тетеньова І.О. Вплив сміттєзвалищ на довкілля та умови проживання населення. *Довкілля та здоров'я*. 2017. № 2. С. 26–30.
 12. Берестецкий О.А. Методы определения токсичности почв. Киев: Урожай, 1971. С. 239–243.
 13. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Киев: Наукова думка, 1965. 200 с.
 14. Шустерук Т.З., Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С. Оцінка стану ґрунтів за показниками їхньої біологічної активності при застосуванні різних агротехнологій. *Агроекологічний журнал*. 2006. № 3. С. 23–28.
 15. Патица В.П., Симочко Л.Ю. Мікробіологічний моніторинг ґрунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України. *Мікробіологічний журнал*. 2013. Т. 75. № 2. С. 21–31.
 16. Кривицька І.А., Бехтер А.А. Екоотоксикологічна оцінка лугопарку ім. Гурова (м. Маріуполь Донецької області). *Охорона довкілля: зб. наукових статей XI Всеукраїнських наукових Талійських читань*. Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2015. С. 163–165.
 17. Дем'янюк О.С., Симочко Л.Ю., Тертична О.В. Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології*. 2017. Вип. 22. № 1. С. 55–68.
 18. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С., Симочко В.В. Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер.: Біологія*. 2017. Вип. 42. С. 77–81.
 19. Симочко Л.Ю. Сукцесійна концепція мікробіо-му ґрунту. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 1. С. 39–46.
 20. Symochko L. Soil microbiome: diversity, activity, functional and structural successions. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences*. 2020. Vol. 10 (2). P. 277–284.
 21. Symochko L.Yu., Kalinichenko A.V. Soil microbiome of primeval forest ecosystems in Transcarpathia. *Мікробіологічний журнал*. 2018. Т. 80, № 3. С. 3–14.
 22. Boonchan Chantaprasarn, Preston T.R. Measuring fertility of soils by the bio-test method. *Livestock Research for Rural Development*. 2004. 16(78). URL: <http://www.lrrd.org/lrrd16/10/chan16078.htm>
 23. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія. Київ: Арістей, 2006. 284 с.
 24. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: моногр. / за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
 25. ДСТУ ISO 10381–6:2015. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 6: Настанови з відбирання, оброблення та зберігання ґрунту в анаеробних умовах лабораторного оцінювання мікробіологічних процесів, біомаси та різноманіття. Чинний від 2016–04–01. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 12 с. (Національний стандарт України).
 26. ДСТУ 7847:2015. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище. Чинний від 2016–07–01. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 12 с. (Національний стандарт України).
 27. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Москва: МГУ, 1991. 304 с.
 28. ДСТУ ISO 11269–2:2002. Якість ґрунту. Визначення дії забруднювачів на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин. Чинний від 2003–10–01. Київ: Держстандарт України. 14 с.
 29. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1985. 351 с.
 30. Касянчук Д.В. Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних геологічних процесів Карпатського регіону. Івано-Франківськ, 2016. 20 с.
 31. Symochko L., Bugyna L., Nafiyak O. Ecological aspects of biosecurity in modern agroecosystems. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences*. 2021. Vol. 11 (1). P. 181–186.
 32. Симочко Л.Ю., Домбай І.В. Фітотоксична активність ґрунту різних екосистем в умовах низинної частини Закарпаття. *Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки*. 2007. № 5. С. 254–259.

REFERENCES

1. Trends in Solid Waste Management. The World Bank. URL: https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html [in English].
2. Popovych, V.V. (2012). Povodzhennia iz tverdymy pobutovymy vidkhodamy (vitchyzniani ta zaru-bizhnyi kontekst) [With solid waste (domestic and foreign contexts)]. *Komunalne hospodarstvo mist*:

- naukovo-tehnikhnyi zbirnyk – Municipal economy of cities: Scientific and technical collection, 105, 476–482 [in Ukrainian].*
3. Ekolohichnyi pasport Zakarpatskoi oblasti. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [Ecological passport of Transcarpathian region. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine]. URL: <https://mepr.gov.ua/news/35913.html> [in Ukrainian].
 4. Boronina, G.G. (2017). Ekolohichni problemy Zakarpatskoi oblasti ta shliakhy yikh rozv'iazannia na zasadakh staloho rozvytku [Environmental problems of the Transcarpathian region and ways of their decision and realizing on the principles of balanced development]. *Ekonomika i suspilstvo – Economy and society, 13, 905–909* [in Ukrainian].
 5. Delehan-Kokaiko, S.V., Slabkiy, G.O., Lukianova, V.V. & Anpilova, Ye.S. (2020). Vplyv smittiezvalyshch na pokaznyky zakhvoriuvanosti silskoho naselennia ta poshyrenosti sered noho khvorob [Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia – Environmental safety and natural resources, 2 (34), 43–52* [in Ukrainian].
 6. Brevik, E.C., Slaughter, L., Singh, B.R., Steffan, J.J., Collier, D., Barnhart, P. & Pereira, P. (2020). Soil and human health: current status and future needs. *Air, Soil and Water Research, 13, 1–13* [in English].
 7. Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalan, C., Bos, R. & Neira, M.P. (2016). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva: World Health Organization. URL: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204585> [in English].
 8. Naumovska, O.I. (2015). Ekolohichniy analiz stanu gruntovoho pokryvva v umovakh lokalnoho zabrudnennia za utvorennia nesanktsionovanykh smittiezvalyshch [Ecological analysis of the state of soil cover in the conditions of local pollution for the formation of unauthorized landfills]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Biolohiia, biotekhnolohiia, ekolohiia – Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Biology, biotechnology, ecology, 214, 200–206* [in Ukrainian].
 9. Ramkova konventsiia pro okhoronu ta stalyy rozvytok Karpat [Framework Convention on the Protection and Sustainable Development of the Carpathians]. URL: zakon.rada.gov.ua/go/998_164 [in Ukrainian].
 10. Rybak, M., Lukianova, V., Pokynchereda, V. & Yonash, I. (2019). Ekoloho-rekreatsiina diialnist Karpat'skoho biosferneho zapovidnyka yak skladnyk staloho rozvytku [Ecological-recreational activity of the Carpathian biosphere reserve as a constituent part of the sustainable development]. *Ekolohichni nauky – Ecological sciences, 26 (3), 88–92* [in Ukrainian].
 11. Teteniova, I.O. (2017). Vplyv smittiezvalyshch na dovkillia ta umovy prozhyvannia naselennia [The influence of the landfills on the environment and living conditions of the population]. *Dovkilla ta zdorov'ia – Environment & health, 2, 26–30* [in Ukrainian].
 12. Berestetskyi, O.A. (1971). *Metody opredeleniia toksychnosti pochv [Methods for determining soil toxicity]*. Kyiv [in Russian].
 13. Hrodzynskiy, A.M. (1965). *Allelopatyia v zhyzny rastenyi y ykh soobshchest [Allelopathy in the life of plants and their communities]*. Kyiv [in Russian].
 14. Shusteruk, T.Z., Sherstoboeva, O.V. & Demyanyuk, O.S. (2006). Otsinka stanu gruntiv za pokaznykamy yikhnoi biolohichnoi aktyvnosti pry zastosuvanni riznykh ahrotekhnolohii [Assessment of soil condition by indicators of their biological activity using different agricultural technologies]. *Ahroekolohichni zhurnal – Agroecological Journal, 3, 23–28* [in Ukrainian].
 15. Patyka, V.P. & Symochko, L.Yu. (2013). Mikrobiolohichniy monitoryng gruntu pryrodnykh ta transformovanykh ekosystem Zakarpattia Ukrainy [Microbiological monitoring of soil of natural and transformed ecosystems of Transcarpathia of Ukraine]. *Mikrobiolohichniy zhurnal – Microbiological Journal, 75 (2), 21–31* [in Ukrainian].
 16. Kryvytska, I.A. & Bekhter, A.A. (2015). Ekotoksikolohichna otsinka luhoparku im. Hurava (m. Mariupol Donetskoi oblasti) [Ecotoxicological assessment of the meadow named after Gurov (Mariupol, Donetsk region)]. *Okhorona dovkillia: zb. naukovykh statei KhI Vseukrainskykh naukovykh Taliivskykh chytan – Environmental protection: coll. scientific articles of the XI All-Ukrainian scientific Taliiv readings*. Kharkiv [in Ukrainian].
 17. Demyanyuk, O.S., Symochko, L.Yu. & Tertychna, O.V. (2017). Suchasni metodychni pidkhody do otsiniuvannia ekolohichnoho stanu gruntu za aktyvnistiu mikrobiotsenozu [Modern methodological approaches to evaluation of the ecological condition of soil by microbial activity]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii – Issues of bioindication and ecology, 22 (1), 55–68* [in Ukrainian].
 18. Symochko, L.Yu., Demyanyuk, O.S. & Symochko, V.V. (2017). Bioindykatsiia i biotestuvannia gruntiv – suchasni metodychni pidkhody [Bioindication and biotesting of soils – modern methodological approaches]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya: Biolohiia – Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology, 42, 77–81* [in Ukrainian].
 19. Symochko, L. (2020). Suktsesiina kontseptsiiia mikrobiomu gruntu [Succession concept of soil microbiome]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological Journal, 1, 39–46* [in Ukrainian].
 20. Symochko, L. (2020). Soil microbiome: diversity, activity, functional and structural successions. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences, 10 (2), 277–284* [in English].
 21. Symochko, L.Yu. & Kalinichenko, A.V. (2018). Soil microbiome of primeval forest ecosystems in Transcarpathia. *Mikrobiolohichniy zhurnal – Microbiological Journal, 80 (3), 3–14* [in English].
 22. Boonchan Chantaprasarn & Preston T.R. (2004).

- Measuring fertility of soils by the bio-test method. *Livestock Research for Rural Development*, 16 (78). URL: <http://www.lrrd.org/lrrd16/10/chan16078.htm> [in English].
23. Iutynska, H.O. (2006). *Gruntova mikrobiolohiia [Soil microbiology]*. Kyiv [in Ukrainian].
 24. Volkohon, V.V. (Ed), Nadkernychna, O.V., Tokmakova, L.M. ta in. (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia [Experimental soil microbiology]*. Kyiv [in Ukrainian].
 25. DSTU ISO 10381–6:2015. *Yakist ґruntu. Vidbyrannia prob. Chastyina 6: Nastanovy z vidbyrannia, obroblennia ta zberihannia ґruntu v anaerobnykh umovakh laboratoroho otsiniuvannia mikrobiolohichnykh protsesiv, biomasy ta riznomanittia. Natsionalnyi standart Ukrainy [Soil quality. Sampling. Part 6. Guidelines for soil selection, treatment and storage under aerobic conditions for laboratory assessment of microbiological processes, biomass and diversity. National standard of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
 26. DSTU 7847:2015. *Yakist ґruntu. Vyznachennia chyselnosti mikroorganizmiv u ґrunti metodom posiviu na tverde (aharyzovane) zhyvylnе seredovyshche. Natsionalnyi standart Ukrainy [Soil quality. Determination of the number of microorganisms in the soil by sowing on a solid (agar) nutrient medium. National standard of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
 27. Zviahyntsev, D.H. (1991). *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimiі [Methods of soil microbiology and biochemistry]*. Moskva [in Russian].
 28. DSTU ISO 11269–2:2002. *Yakist ґruntu. Vyznachennia dii zabrudniuvachiv na floru ґruntu. Chastyina 2. Vplyv khimichnykh rechozyn na prorostannia ta rist vyshchyykh roslyn. Derzhavnyi standart Ukrainy [Soil quality. Determination of the impact of pollutants on soil flora. Part 2. Influence of chemicals on germination and growth of higher plants. State standard of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
 29. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodyka polevoho opyta [Methodology of the field experience]*. Moskva [in Russian].
 30. Kasiianchuk, D.V. (2016). *Otsinka ekolohichnykh ryzykiv dlia pryrodnoi ta tekhnohennoi skladovoi ekzhennykh heolohichnykh protsesiv Karpatskoho rehionu [Environmental risk assessment for the natural and man-made component of exogenous geological processes in the Carpathian region]*. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].
 31. Symochko, L., Bugyna, L. & Hafiiyak, O. (2021). Ecological aspects of biosecurity in modern agroecosystems. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences*, 11 (1), 181–186 [in English].
 32. Symochko, L.Yu. & Dombai, I.V. (2007). Fitotoksychna aktyvnist ґruntu riznykh ekosystem v umovakh nyzynnoi chastynty Zakarpattia [Phytotoxic activity of soil of different ecosystems in the lowlands of Transcarpathia]. *Naukovyi visnyk Volynskoho derzhavnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky – Scientific Bulletin of Volyn State University named after Lesya Ukrainka*, 5, 254–259 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 20.02.2021